

## 明 細 書

### 電子管

### 技術分野

[0001] 本発明は、電子管に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、光電面と電子打ち込み型半導体素子とを有する電子管が提案されている。光電面は、光の入射に応じて光電子を放出する。電子打ち込み型半導体素子は、光電子を増幅して検出する。電子打ち込み型半導体素子としては、主にアバランシェフォトダイオード(以下、APDという)が用いられている。

[0003] APDを用いた電子管では、絶縁容器の両端に入射窓と導電性ステムとが互いに対向するように配置されている。入射窓の内壁には光電面が形成され、導電性ステム上にはAPDが配置されている。導電性ステムには接地電圧、光電面には負の高電圧が印加されている。導電性ステムと光電面とは、絶縁容器にて電氣的に絶縁されている。このため、絶縁容器の光電面付近が負の高電圧となっている(例えば、特許文献1または2参照)。

[0004] また、上記電子管において、導電性ステムが絶縁性容器内部に突出した電子管も提案されている(例えば、特許文献3参照)。

特許文献1:特開平8-148113号公報(第3-8頁、第1図)

特許文献2:特開平9-312145号公報(第3-6頁、第1図)

特許文献3:特開平9-297055号公報(第4-9頁、第4図)

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、上記のような従来の電子管では、絶縁容器の光電面付近に負の高電圧が露出しているので、扱いにくいという問題があった。また、光電面もしくはアノード側と外部環境との間に大きな電位差が生じているために、電子管と外部環境との間で放電が起こる危険性もあった。

[0006] そこで本発明は、使用時の扱いが容易で、安全性の高い電子管を提供することを

目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0007] 上記目的を達成するために、本発明は、内壁の所定の部分に光電面が形成された外囲器と、一端と他端とを有し、前記他端が前記外囲器に接続され、前記一端が前記外囲器の内部側に突出した絶縁性の筒と、前記筒の一端に設けられた電子打ち込み型半導体素子と、前記外囲器内部に設けられ、アルカリ金属蒸気を発生させるアルカリ源と、前記アルカリ源と前記筒との間に設けられた隔離部材とを有し、前記光電面に入射した光に応じて前記光電面より放出される光電子を前記半導体素子により検出することを特徴とする電子管を提供する。
- [0008] このような構成によれば、本発明の電子管は、外囲器、絶縁性の筒、半導体素子、アルカリ源、隔離部材を有している。絶縁性の筒の一端は外囲器内部側に突出しており、半導体素子は筒の一端に設けられる。筒の他端は外囲器に接続されている。アルカリ源は外囲器内部に設けられ、アルカリ金属蒸気を発生し、外囲器の所定の部分に光電面を形成する。アルカリ源と筒とは隔離部材によって隔てられている。
- [0009] かかる構成の電子管によれば、半導体素子は外周器の内部側に突出している。従って、外囲器に接地電圧を、半導体素子にプラス極性の電圧を与えれば、絶対値の大きい電圧が外部環境に露出されずに済む。よって使用時の扱いが容易で、外囲器と外部環境との間の放電も防止することができる。
- [0010] しかも、アルカリ源と筒とは隔離部材により隔てられている。よって、アルカリ源がアルカリ金属蒸気を発生させ外囲器の所定の部分に光電面を形成する際に、筒にアルカリ金属が蒸着するのを防止することができる。筒にアルカリ金属が付着しないので、筒に付着したアルカリ金属により筒表面の仕事関数を低下させて耐電圧を低下させたり、筒近傍の電界強度が筒に付着したアルカリ金属による影響を受けることがない。このため、電子を効率よく検出することが可能である。
- [0011] また、前記隔離部材は、前記アルカリ源と前記筒との間に位置する隔壁からなり、前記筒の一端に導電性部材を介して接続された内側ステムを更に備え、前記内側ステムに前記半導体素子が配置され、前記筒の一端に前記筒外部側に突出するように設けられ、前記筒の一端近傍の電界強度を緩和する導電性部材をさらに有するこ

とが好ましい。

- [0012] このような構成によれば、隔離部材は隔壁であり、絶縁性の筒の一端に導電性部材を介して内側ステムが接続され、半導体素子は内側ステムに配置されている。絶縁性の筒の一端に、導電性部材が突出して設けられている。導電性部材は、筒の一端近傍における電界強度を緩和する。
- [0013] かかる構成の電子管によれば、導電性部材により、絶縁性の筒の一端近傍の電界強度が緩和されるため、放電を防止することができる。このため、光電面と半導体素子との間に大きな電位差を与えて、高い検出効率を得ることが可能となる。
- [0014] また、前記外囲器は、前記筒の他端に接続され少なくとも前記筒の他端と接続する部分が導電性を有する外側ステムを有し、前記筒の他端に前記筒外部側に突出するように設けられ、前記筒の他端近傍の電界強度を緩和する導電性部材をさらに有することが好ましい。
- [0015] このような構成によれば、外囲器は外側ステムを有している。外側ステムは、筒の他端に接続され、少なくとも筒の他端と接続する部分が導電性を有している。絶縁性の筒の他端に導電性部材が突出して設けられている。導電性部材は、筒の他端近傍における電界強度を緩和する。
- [0016] かかる構成の電子管によれば、導電性部材により、絶縁性の筒の他端近傍の電界強度が緩和されるため、放電を防止することができる。このため、光電面と半導体素子との間に大きな電位差を与えて、高い検出効率を得ることが可能となる。
- [0017] また、前記外囲器は接地電位を印加され、前記半導体素子はプラス極性の電位を印加されることが好ましい。
- [0018] このような構成によれば、外囲器は接地電位、半導体素子はプラスの極性を印加される。外囲器と半導体素子とは絶縁性の筒により絶縁を保たれる。
- [0019] かかる構成の電子管によれば、外周器の内部側に突出している半導体素子にはプラス極性の電圧を与え、外部に露出している外囲器には接地電圧を与えるので、絶対値の大きい電位が外部環境に露出されない。よって使用時の扱いが容易であり、外囲器と外部環境との間の放電も防止できる。このため、水チェレンコフ実験など、水中でシングルフォトンの検出のために使用することが可能となる。

- [0020] また、前記隔離部材は、前記筒の一端から前記筒外部側に突出するように設けられた前記筒の一端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材、又は、前記筒の他端から前記筒外部側に突出するように設けられた前記筒の他端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材のいずれか一方からなることが好ましい。
- [0021] このような構成によれば、筒の端部から突出した導電性部材は、アルカリ源から発生するアルカリ金属蒸気が筒に付着するのを防止すると共に、筒の端部近傍における電界強度を緩和する。
- [0022] かかる構成の電子管によれば、アルカリ源と筒とが導電性部材により隔てられている。よって、アルカリ源がアルカリ金属蒸気を発生させ外囲器の所定の部分に光電面を形成する際に、筒にアルカリ金属が蒸着するのを防止することができる。筒にアルカリ金属が付着しないので、筒に付着したアルカリ金属により筒表面の仕事関数を低下させて耐電圧を低下させたり、筒近傍の電界強度が筒に付着したアルカリ金属による影響を受けることがない。このため、電子を効率よく検出することが可能である。
- [0023] また、導電性部材により、絶縁性の筒の端部近傍の電界強度が緩和されるため、放電を防止することができる。このため、光電面と半導体素子との間に大きな電位差を与えて、高い検出効率を得ることが可能となる。
- [0024] また、前記隔離部材は、前記筒の一端から前記筒外部側に突出するように設けられた前記筒の一端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材、及び、前記筒の他端から前記筒外部側に突出するように設けられた前記筒の他端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材からなることが好ましい。
- [0025] このような構成によれば、筒の両端部から突出した導電性部材は、アルカリ源から発生するアルカリ金属蒸気が筒に付着するのを防止すると共に、筒の端部近傍における電界強度を緩和する。
- [0026] かかる構成の電子管によれば、アルカリ源と筒とが導電性部材により隔てられている。よって、アルカリ源がアルカリ金属蒸気を発生させ外囲器の所定の部分に光電面を形成する際に、筒にアルカリ金属が蒸着するのを防止することができる。筒にアルカリ金属が付着しないので、筒に付着したアルカリ金属により筒表面の仕事関数を低下させて耐電圧を低下させたり、筒近傍の電界強度が筒に付着したアルカリ金属に

よる影響を受けることがない。このため、電子を効率よく検出することが可能である。

[0027] また、導電性部材により、絶縁性の筒の端部近傍の電界強度が緩和されるため、放電を防止することができる。このため、光電面と半導体素子との間に大きな電位差を与えて、高い検出効率を得ることが可能となる。

[0028] また、前記導電性部材と前記導電性部材とは、前記筒の軸方向において互いに重なり合う部分を有することが好ましい。

[0029] このような構成によれば、筒の両端部から突出して筒の軸方向において重なり合う部分を有する導電性部材は、アルカリ源から発生するアルカリ金属蒸気が筒に付着するのを防止すると共に、筒の端部近傍における電界強度を緩和する。

[0030] かかる構成の電子管によれば、アルカリ源と筒とが導電性部材により隔てられている。導電性部材は、筒の両端部から突出して筒の側面と垂直な方向において重なり合う部分を有する。よって、アルカリ源がアルカリ金属蒸気を発生させ外囲器の所定の部分に光電面を形成する際に、筒にアルカリ金属が蒸着するのをより効率的に防止することができる。筒にアルカリ金属が付着しないので、筒に付着したアルカリ金属により筒表面の仕事関数を低下させて耐電圧を低下させたり、筒近傍の電界強度が筒に付着したアルカリ金属による影響を受けることがない。このため、電子を効率よく検出することが可能である。

[0031] また、導電性部材により、絶縁性の筒の端部近傍の電界強度が緩和されるため、放電を防止することができる。このため、光電面と半導体素子との間に大きな電位差を与えて、高い検出効率を得ることが可能となる。

#### 図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明の実施の形態による電子管を示す概略断面図。

[図2]図1の電子管のII-II線縦断面図。

[図3]図1の電子管に設けられている電子検出部の縦断面及び電子検出部内部に設けられている電気回路を詳細に説明する図。

[図4]電子検出部の電子検出部頭部の上方からの平面図。

[図5]電子検出部のAPDを示す概略断面図。

[図6]遮蔽部がない場合の電子検出部頭部の概観斜視図。

[図7]電子検出部頭部の概観斜視図。

[図8]アルカリ源を示す図。(A)はアルカリ源の正面図、(B)はアルカリ源の概観斜視図。

[図9]電子管内部の等電位面Eおよび電子の軌跡Lを示す概略縦断面図。

[図10]比較例における電子管内部の等電位面Eおよび電子の軌跡Lを示す概略断面図。

[図11]導電性フランジ21、23による絶縁性筒9上下端付近の等電位面Eを示す概略縦断面図。

[図12]導電性フランジ21、23がない場合の絶縁性筒9上下端付近の等電位面Eを示す概略縦断面図。

[図13]ガラスバルブ本体の縦断面が円形の場合の等電位面Eおよび電子の軌跡Lを示す概略縦断面図。

[図14]比較例における等電位面Eおよび電子の軌跡Lを示す概略縦断面図。

[図15]変形例による導電性フランジの外周縁の縦断面図。

[図16]変形例による遮蔽部の構成を示す縦断面図。

[図17]別の変形例による遮蔽部の構成を示す縦断面図。

[図18]別の変形例による電子管を示す概略断面図。

[図19]導電性フランジ21'、23'及び支持部材26'についての詳細な説明図。

## 符号の説明

- [0033]
- 1 電子管
  - 2 外囲器
  - 3 ガラスバルブ
  - 4 ガラスバルブ本体
    - 4a 上側半球部
    - 4b 下側半球部
  - 5 ガラスバルブ基部
  - 6 外側ステム
  - 9 絶縁筒

- 10 電子検出部
- 15 APD
- 21、23 導電性フランジ
- 21'、23' 導電性フランジ
- 26 隔壁
- 27 アルカリ源
- 60 ステム底面
- 61 ステム内側壁
- 62 ステム外側壁
- 70 遮蔽部
- 71 カバー
- 72 内側壁部
- 73 キャップ
- 74 外側壁部
- 80 内側ステム
- 87 台座
- 89 導電性支持部
- 90 電気回路
- I 下側半球部4bの仮想延長曲面
- M 外周縁87bの仮想延長曲面
- S 基準点
- Z 軸

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0034] 本発明の実施の形態による電子管について、図1乃至図19に基づき説明する。
- [0035] 図1は、本実施の形態にかかる電子管1の概略縦断面図である。
- [0036] 図1に示すように、電子管1は、外囲器2と電子検出部10とを備えている。外囲器2は軸Zを有している。電子検出部10は、外囲器2の内側に軸Zに沿って突出している。電子検出部10は軸Zを中心軸として延びる略円筒状をしている。

- [0037] 外囲器2は、ガラスバルブ3と外側ステム6とを備えている。ガラスバルブ3は、透明なガラスで形成されている。
- [0038] ガラスバルブ3は、ガラスバルブ本体4と円筒状のガラスバルブ基部5とを備えている。ガラスバルブ本体4とガラスバルブ基部5とは一体的に形成されている。ガラスバルブ本体4は、軸Zを中心軸とした略球状の形状を有している。ガラスバルブ本体4の軸Zに沿った断面は、図に示すように、軸Zに直交する第1の径R1と中心軸Zに沿った第2の径R2とを有している。ガラスバルブ本体4の軸Zに沿った断面は、第1の径R1が第2の径R2より大きな略楕円形状である。ガラスバルブ基部5は軸Zを中心軸として円筒状に延びている。
- [0039] ガラスバルブ本体4は、上側半球部4aと下側半球部4bとを一体的に備えている。上側半球部4aは、略球面状に湾曲した半球状をしておりガラスバルブ本体4の図における上側半球を構成している。下側半球部4bも略球面状に湾曲した半球状をしており、ガラスバルブ本体4の図における下側半球を構成している。以下では、図1において、下側半球部4bから見て上側半球部4aを上側、上側半球部4aから見て下側半球部4bを下側と規定する。上側半球部4aの下端は下側半球部4bの上端と接続され、下側半球部4bの下端はガラスバルブ基部5の上端と接続されている。このようにして、ガラスバルブ3は、一体的に構成されている。下側半球部4bの仮想延長曲面Iは、ガラスバルブ基部5内の基準点Sで軸Zと交差している。
- [0040] 上側半球部4aの内壁には光電面11が形成されている。光電面11は、アンチモン(Sb)、マンガン(Mn)、カリウム(K)、セシウム(Cs)が蒸着されることにより形成された薄膜である。
- [0041] 下側半球部4bの内壁には導電性薄膜13が形成されている。導電性薄膜13の上端部は、光電面11の下端部と接触している。導電性薄膜13は、クロムの薄膜である。ただし、導電性薄膜13をアルミニウムの薄膜で形成しても良い。
- [0042] 外側ステム6は、導電性材料であるコバルト金属で形成されている。外側ステム6は、ステム底面60とステム内側壁61とステム外側壁62とからなる。ステム底面60は、軸Zを中心軸とした略円環状で、軸Zに近づくに連れ、下側に傾斜している。ステム内側壁61とステム外側壁62とは、共に、中心軸が軸Zに一致した円筒形状をしてい



る。ステム内側壁61は、ステム底面60の内側の端部から上側に延びている。ステム外側壁62は、ステム底面60の外側の端部から上側に延びている。ステム外側壁62の上側端部は、ガラスバルブ基部5の下側端部に気密に接続されている。ステム内側壁61の上側端部は、電子検出部10の下側端部に気密に接続されている。こうして、略円筒状の電子検出部10は、円筒状のガラスバルブ基部5と同軸状に、外側ステム6側から光電面11側に向かって突出している。

[0043] 円筒状のガラスバルブ基部5と略円筒状の電子検出部10との間には、ガラスバルブ基部5及び電子検出部10と同軸状に、円筒状の隔壁26が設けられている。隔壁26は例えばステンレススティール等の導電性材料からなる。隔壁26の下端はステム底面60と接続されている。隔壁26の上端部の位置は、軸Zに平行な方向において、基準点Sよりも上側半球部4a側(すなわち、図において上側)にある。隔壁26の上端部は、下側半球部4bの仮想延長曲面Iよりもガラスバルブ基部5側(すなわち、下側)に位置している。

[0044] 隔壁26の外側面、すなわち、ガラスバルブ基部5に面した側には、2つのアルカリ源27、27が設けられている。2つのアルカリ源27、27は、軸Zに対して対称な位置に配置されている。各アルカリ源27は、支持部27a、保持板27b、取付部27c、及び、6個の容器27dを備えている。なお、図1には、2個の容器27dのみが示されている。各容器27dは、軸Zに平行な方向において、隔壁26の上端部より外側ステム6側(すなわち、下側)に位置している。

[0045] ステム底面60上における電子検出部10と隔壁26との間には、開口60aが形成されている。開口60aは排気管7と連通している。排気管7は、例えばコバール金属管である。

[0046] 排気管7にはガラス管63が接続されている。ガラス管63は例えばコバールガラスである。ガラス管63は端部65で封止されている。

[0047] 電子検出部10は、絶縁性筒9を備えている。絶縁性筒9は、例えばセラミックで形成されている。絶縁性筒9は、軸Zを中心軸として延びる円筒形状をしている。

[0048] 絶縁性筒9の下端は、ステム内側壁61の上端に気密に接続されている。絶縁性筒9の下端には導電性フランジ23が設けられている。絶縁性筒9の上端には電子検出

部頭部8が配置されている。電子検出部頭部8は光電面11に対向している。また、絶縁性筒9の上端には導電性フランジ21が設けられている。導電性フランジ21、23は、共に、軸Zから遠ざかる方向、すなわち、絶縁性筒9からガラスバルブ基部5に向かう方向に突出している。導電性フランジ21、23は、軸Zに直交する平面上に円周状に広がる板状をしている。なお、絶縁性筒9の上端は、隔壁26の上端より軸Zに平行な方向において外側ステム6の側(すなわち、下側)に位置している。

[0049] 電子検出部頭部8は導電性支持部89を備えている。導電性支持部89は軸Zを中心軸とする円筒状である。導電性支持部89の下端部は絶縁性筒9の上端と気密に接続されている。

[0050] 電子検出部頭部8はさらに内側ステム80を備えている。内側ステム80は、軸Zを中心軸とする略円盤状である。内側ステム80の外側端部が導電性支持部89の上端に気密に接続されている。内側ステム80上には、APD(Avalanche Photo Diode(アバランシェフォトダイオード))15と、2個のマンガんびード17と、2個のアンチモンビード19とが配置されている。このように、内側ステム80は、APD15と、マンガんびード17と、アンチモンビード17とを固定する固定板として機能する。また、内側ステム80上には、APD15とマンガんびード17とアンチモンビード19とを遮蔽するための遮蔽部70が、上側半球部4aに対向して配置されている。

[0051] APD15は、軸Z上に位置し、かつ、基準点Sよりも上側半球部4a側(すなわち、上側)に配置されている。また、APD15の位置は、軸Zに平行な方向において、隔壁26の上端部よりも上側半球部4a側(すなわち、上側)である。

[0052] 絶縁性筒9の内側には、電子検出部頭部8に接続された電気回路90が充填材94により封入されている。充填材94は、例えば、シリコン等の絶縁材料である。電気回路90は、出力端子N1、N2と入力端子N3、N4とを備えている。出力端子N1、N2、入力端子N3、N4は、それぞれ充填材94の外側に露出している。出力端子N1、N2は、外部回路100に接続されている。入力端子N3、N4は、図示しない外部電源に接続されている。

[0053] 図2は、図1のII-II線縦断面図である。換言すれば、図2は、図1を軸Z周りにおいて角度を90°ずらした方向における電子管1の縦断面を示している。なお、図2では、

明確化を図るため、絶縁性筒9内部の電気回路90の図示を省略している。

- [0054] 図2の角度から見ると、導電性薄膜13の一部がガラスバルブ本体4からガラスバルブ基部5にまで延びている。この導電性薄膜13の延びた部分を薄膜延長部13aという。ステム底面60からは接続用電極12が延び、ステム底面60と薄膜延長部13aとを接続している。したがって、導電性薄膜13と外側ステム6とは電氣的に導通している。このため、光電面11と外側ステム6とも互いに電氣的に導通していることとなる。
- [0055] 次に、図1乃至図7を参照しながら、電子検出部10の構成についてより詳細に説明する。
- [0056] 図3は、図1に示した電子検出部10の縦断面の構造をより詳細に示した図である。図4は、電子検出部10の電子検出部頭部8を、光電面11側から見た平面図である。
- [0057] 図3に示すように、導電性フランジ23は、絶縁性筒9と導電性を有するステム内側壁61との接続部に設けられており、絶縁性筒9とステム内側壁61との両方に接続されている。導電性フランジ23は導電性材料から形成されている。
- [0058] 導電性フランジ23は、接続部23aとフランジ本体部23bと立ち上がり部23cと先端丸み部23dとを備えている。接続部23aは円筒状をしており、円筒状のステム内側壁61の外側面に固定されている。フランジ本体部23bは、軸Zから離れる方向に延びる円環板状をしている。立ち上がり部23cはフランジ本体部23bの外側端部から軸Zに平行に上方向に延びた円筒状をしている。先端丸み部23dは、立ち上がり部23cの上端部から軸Zから離れる方向に延びている。先端丸み部23dは、接続部23aやフランジ本体部23b、及び、立ち上がり部23cの厚みより厚く、丸みを帯びた肉厚形状になっている。
- [0059] 導電性フランジ21は、絶縁性筒9と導電性支持部89との接続部に設けられており、絶縁性筒9と導電性支持部89との両方に接続されている。導電性フランジ21は導電性材料から形成されている。
- [0060] 導電性フランジ21は、接続部21aとフランジ本体部21bと先端丸み部21cとを備えている。接続部21aは円筒状をしており、円筒状の導電性支持部89の外側面に固定されている。フランジ本体部21bは、軸Zから離れる方向に延びる円環板状をしている。先端丸み部21cは、フランジ本体部21bの外周部に形成され、フランジ本体部

21bの厚みより厚く、丸みを帯びた肉厚形状になっている。

[0061] 導電性支持部89は例えばコバルト金属等の導電性材料からなる。

[0062] 内側ステム80は、APD用ステム16と台座87とからなる。台座87は導電性材料から形成されている。台座87は、中心が外囲器2の軸Zと一致する略円環形状をしている。台座87の下側面の外周部は円筒状の導電性支持部89の上端に固定されている。台座87の中央部には貫通孔87aが形成されている。貫通孔87aは軸Zを中心とする円形状をしている。台座87は軸Zの周りを円周状に延びる外周縁87bを有している。この外周縁87bが内側ステム80の外周縁を規定している。図3及び図6に示すように、外周縁87bの仮想延長曲面Mが、外周縁87bから軸Zに略平行に図3における上方向に延びている。したがって、外周縁87bの仮想延長曲面Mは、図1に示すように、外周縁87bから軸Zに略平行に上側半球部4a(光電面11)へ向かって延びている。

[0063] APD用ステム16は、台座87の図における下側から貫通孔87aを気密に塞ぐように配置され、台座87に対し固定されている。APD用ステム16も中心が軸Zに一致する円盤形状をしており、導電性材料で形成されている。

[0064] APD15は、APD用ステム16の上部の軸Z上の位置に上側半球部4a(光電面11)に対向するように配置されている。このように、APD15は、内側ステム80の略中心位置に固定されている。

[0065] 台座87の貫通孔87aの周囲には、12個の電極83(図6参照)が配置されている。図3には、12個のうち2個の電極83のみが示されている。各電極83は台座87を貫通している。各電極83は、ガラスなどの絶縁材料85により台座87に対して電氣的に絶縁され、かつ、気密に封止されている。

[0066] 2つのマンガんびード17は軸Zに対して対称な位置に配置されている。2つのアンチモンビード19は、2つのマンガんびード17の外側に、やはり、軸Zに対して対称な位置に配置されている。マンガんびード17およびアンチモンビード19は、それぞれ、図示しないワイヤヒータ81(図4、図6参照)に保持されている。各ワイヤヒータ81は、12個の電極83(図6参照)のうち対応する2本の電極83に接続されている。

[0067] 図1、図3、図4、及び、図6より明らかなように、マンガんびード17およびアンチモン

ビード19は、内側ステム80(より詳しくは、台座87)より上側であって、かつ、台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mより内側に配置されている。

[0068] 遮蔽部70は、内側ステム80を覆うために備えられている。

[0069] 図3及び図4に示すように、遮蔽部70は、キャップ73とカバー71とからなる。キャップ73とカバー71とは導電性材料で形成されている。キャップ73は、中心軸が軸Zと一致した円形蓋形状をしている。キャップ73は、内側壁部72、外側壁部74、及び、内側壁部72と外側壁部74とを接続する天井面76を備えている。内側壁部72と外側壁部74とは軸Zを中心軸とする同心円筒状であり、図1及び図3に示すように、軸Zに略平行に上側半球面4a(光電面11)に向かって延びている。外側壁部74は、図1、図3に示すように、台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mにほぼ沿って台座87から光電面11に向かって延びている。天井面76の中心部には貫通孔73aが形成されている。貫通孔73aは、円形でその中心軸は軸Zと一致している。天井面76の貫通孔73aの外側には2つの貫通孔75が形成されている。2つの貫通孔75は円形状である。2つの貫通孔75は貫通孔73aに対し対称な位置に形成されている。天井面76の2つの貫通孔75の更に外側には、2つの貫通孔77が形成されている。2つの貫通孔77も円形状である。2つの貫通孔77も貫通孔73aに対し対称な位置に形成されている。ワイヤヒータ81に保持されたマンガンビード17は貫通孔75内に位置している。ワイヤヒータ81に保持されたアンチモンビード19は貫通孔77内に位置している。

[0070] カバー71は、キャップ73の貫通孔73a内に配置されている。カバー71は、中心が軸Zに一致した円形蓋状である。カバー71は、外側壁部71aと天井面71bとを備えている。外側壁部71aは軸Zを中心軸とする円筒状であり、図1及び図3に示すように、軸Zに略平行に上側半球部4a(光電面11)に向かって延びている。カバー71の外周(すなわち、外側壁部71a)がキャップ73の内側壁部72に接続されている。カバー71の天井面71bには貫通孔79が形成されている。貫通孔79は、中心が軸Zに一致した円形状である。カバー71は、APD15の上部に位置している。

[0071] カバー71と内側壁部72とは、APD15をマンガンビード17およびアンチモンビード19から隔離している。外側壁部74は、マンガンビード17およびアンチモンビード19を取り囲んでいる。

- [0072] このように、本実施の形態では、マンガンビード17とアンチモンビード19とは、台座87より上側半球部4a側であって、台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mとカバー71の外側壁部71aとの間に配置されている。すなわち、マンガンビード17とアンチモンビード19とは、カバー71の外側壁部71aの外側(すなわち、外側壁部71aよりZ軸から遠ざかる側)で、かつ、台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mより内側(仮想延長曲面MよりZ軸に近づく側)に配置されている。したがって、後述するように、台座87とキャップ73の天井面76と外側壁部74とは、マンガン蒸気やアンチモン蒸気がガラスバルブ基部5や下側半球部4b、及び、外側ステム6の内壁に付着するのを防止し、マンガン蒸気やアンチモン蒸気を上側半球部4aの内壁の軸Zを中心とした略全領域に蒸着させることができる。したがって、上側半球部4aの内壁の略全領域に光電面11の下地膜を形成することができる。しかも、カバー71は、マンガン蒸気やアンチモン蒸気がAPD15に付着するのを防止することができる。
- [0073] APD用ステム16の下側面にはピン30が固定されている。ピン30はAPD用ステム16と電氣的に導通している。また、ピン32がAPD用ステム16を貫通している。ピン32は、ガラスなどの絶縁材料31により、APD用ステム16から電氣的に絶縁され、かつ、気密に封止されている。
- [0074] 電気回路90は、コンデンサC1、C2、アンプA1、出力端子N1、N2、入力端子N3、N4を備えている。ピン30とコンデンサC1の一方の端子とが入力端子N3に接続されている。コンデンサC1の他方の端子が出力端子N1に接続されている。ピン32とコンデンサC2の一方の端子とが入力端子N4に接続されている。コンデンサC2の他方の端子がアンプA1を介して出力端子N2に接続されている。入力端子N3、N4は、図示しない外部電源に接続され、出力端子N1、N2は、外部回路100に接続されている。ここで、外部回路100は、抵抗Rを有している。外部回路100は、出力端子N1を接地する。抵抗Rは出力端子N1とN2との間に接続されている。
- [0075] 次に、図5を参照しながらAPD15の構成について説明する。
- [0076] 図5に示すように、APD15は、APD用ステム16上に、カバー71の開口部79に対向して配置されている。APD15は導電性の接着剤49を介してAPD用ステム16に固定されている。

- [0077] APD15は、略正方形板状のn型の高濃度シリコン基板41と、高濃度シリコン基板41上の略中央位置に形成された円板状のp型のキャリア増倍層42とを備えている。キャリア増倍層42の外周には、キャリア増倍層42と同じ厚さで高濃度n型層よりなるガードリング層43が形成されている。キャリア増倍層42の表面には、高濃度p型層よりなる降伏電圧制御層44が形成されている。降伏電圧制御層44の表面は円形の電子入射面44aとして形成され、降伏電圧制御層44の周辺部分とガードリング層43とを架け渡すように、酸化膜45及び窒化膜46が形成されている。
- [0078] 降伏電圧制御層44にアノード電位を供給するために、APD15の最外面には円環状にアルミを蒸着して形成された入射面電極47が設けられている。APD15の最外面には、ガードリング層43と導通する周辺電極48が設けられている。この周辺電極48は、入射面電極47に対して所定の間隔をもって離間している。
- [0079] 高濃度n型シリコン基板41は、導電性接着剤49を介してAPD用ステム16と電気的に導通している。このため、高濃度n型シリコン基板41はピン30と電気的に導通している。一方、入射面電極47は、ワイヤ33により、貫通ピン32と接続されている。
- [0080] 図6は、電子検出部頭部8から遮蔽部70を取り外し、さらに、絶縁性筒9と導電性支持部89から導電性フランジ21を取り外した状態を示している。絶縁性筒9の上部に導電性支持部89が配置されている。導電性支持部89の上部に内側ステム80が配置されている。内側ステム80は、台座87を有し、その貫通孔87aにAPD用ステム16が露出している。
- [0081] APD用ステム16上には、APD15が配置されている。APD15は電子入射面44aを有しており、電子入射面44aは上方を向いている。APD用ステム16には絶縁材料31で絶縁されたピン32が固定されている。APD15は、ワイヤ33によりピン32と接続されている。
- [0082] 台座87には絶縁材料85により絶縁された12個の電極83が固定されている。12個の電極83は、貫通孔87aの周りを取り囲むように円周状に並んでいる。12個の電極83のうち4対の電極83にワイヤヒータ81が接続されている。各ワイヤヒータ81にマンガんびード17あるいはアンチモンビード19が保持されている。マンガんびード17、アンチモンビード19はビーズ形状である。

- [0083] 図7は、図6を参照して説明した電子検出部頭部8に導電性フランジ21および遮蔽部70を装着した状態を示している。導電性フランジ21は、絶縁性筒9の上端に絶縁性筒9と導電性支持部89との両方に接続するように固定されている。導電性フランジ21は、絶縁性筒9より遠ざかる方向に延びている。
- [0084] 遮蔽部70のキャップ73は台座87を上方から覆っている。キャップ73は、円形蓋状で、内側壁部72、外側壁部74、及び、天井面76を有している。天井面76には、円形貫通孔73aと2つの貫通孔75と2つの貫通孔77とが形成されている。ワイヤヒータ81に保持されたマンガンビード17が対応する貫通孔75により露出し、ワイヤヒータ81に保持されたアンチモンビード19が対応する貫通孔77により露出している。APD15の電子入射面44aがカバー71の貫通孔79により露出している。カバー71と内側壁部72は、マンガンビード17およびアンチモンビード19からAPD15を隔離している。外側壁部74は、マンガンビード17およびアンチモンビード19を取り囲んでいる。
- [0085] 次に、図1と図8の(A)と(B)とを参照しながら、アルカリ源27の構成について説明する。図8の(A)は、隔壁26の外側に設けられたアルカリ源27をガラスバルブ基部5側から見た状態を示す正面図であり、(B)は、アルカリ源27の斜視図である。
- [0086] 支持部27aは、軸Zと平行な方向に延びる部分と軸Zから半径方向に遠ざかる方向に延びる部分とを有するL字形の形状をしている。支持部27aは例えばステンレス製リボン(SUSリボン)である。支持部27aのうち軸Zと平行な方向に延びる部分が隔壁26の外側側面に固定されている。
- [0087] 保持板27bは、支持部27aのうち軸Zから遠ざかる方向に延びる部分の先端に固定されている。保持板27bは軸Zに対し直交し、円筒形状の隔壁26の円周方向に略平行に延びている。
- [0088] 保持板27bには6本の取付部27bが固定されている。各取付部27bの先端部に容器27dが固定されている。容器27dは、その側面に開口を有する容器である。6個の容器27dのうち5個の容器27dの内部には、図示しないアルカリ源ペレットが収納されている。残りの1個の容器27dの内部には、図示しないゲッターが収納されている。ゲッターは例えばバリウム、チタン等、不純物を吸着する作用のある物質である。
- [0089] 図1に示すように、電子管1には、2個のアルカリ源27が配置されている。一方のア



ルカリ源27に設けられた5個の容器27dには、アルカリ源ペレットとしてカリウム(K)のペレットが収納されている。他方のアルカリ源27に設けられた5個の容器27dには、アルカリ源ペレットとしてセシウム(Cs)のペレットが収納されている。

[0090] 次に上記構成を有する電子管1の製造方法について説明する。

[0091] まず、導電性薄膜13が下側半球部4bの内壁に蒸着され、ステム外壁62が気密に接続されたガラスバルブ3を用意する。

[0092] また、隔壁26と接続用電極12とが固定され排気管7が接続されたステム底面60を用意する。なお、隔壁26には2つのアルカリ源27、27が固定されている。排気管7にはガラス管63が接続されている。なお、この時には、ガラス管63の長さは図1に示す長さより長く、また、ガラス管63は、排気管7と接続されている方の端部のみならず、反対側の端部も開口している。

[0093] また、電子検出部頭部8の導電性支持部89と絶縁性筒9とを気密に接続し、導電性フランジ21を導電性支持部89と絶縁性筒9とに接続する。また、絶縁性筒9とステム内壁61とを気密に接続し、導電性フランジ23を絶縁性筒9とステム内壁61とに接続する。

[0094] ステム内壁61とステム底面60とをレーザ溶接にて気密に接続する。ステム外壁62とステム底面60とをプラズマ溶接にて気密に接続する。この結果、電子検出部10が外囲器2内部に突出した構造を有する電子管1が作成される。

[0095] 次に、以下の方法により、光電面11をガラスバルブ3の下側半球部4aの内壁に形成する。

[0096] まず、不図示の排気装置をガラス管63に接続し、ガラス管63および排気管7を介して外囲器2内部を排気する。こうして、電子管1内部を所定の真空度にする。

[0097] 続いて、電極83を介してワイヤヒータ81を通電することによりマンガンビード17、アンチモンビード19を加熱する。電極83には、図示しない電源から電力が供給される。マンガンビード17、アンチモンビード19は加熱されて金属蒸気を発生する。発生したマンガンおよびアンチモンの蒸気は、上側半球部4aの内壁に蒸着され、光電面11の下地膜となる。

[0098] このときカバー71、内側壁部72、外側壁部74は、APD15や、外囲器2内面の意

図しない範囲(具体的には、下側半球部4bやガラスバルブ基部5や外側ステム6の内壁)に金属が蒸着するのを防止する。すなわち、カバー71や内側壁部72は、APD15の近傍にAPD15を取り囲むように配置されている。そのため、カバー71や内側壁部72は、単純な筒形状を有し、面積の小さい部材ではあるが、マンガンビード17およびアンチモンビード19からAPD15を効果的に隔離することができる。従って、金属蒸気がAPD15に付着し、APD15の特性を劣化させるのを防止することができる。

[0099] 一方、外側壁部74は、マンガンビード17およびアンチモンビード19を取り囲んでいる。そのため、外側壁部74は、金属蒸気が下側半球部4bやガラスバルブ基部5及び外側ステム6の内壁に付着するのを防止することができる。

[0100] また、マンガンビード17およびアンチモンビード19は、内側ステム80上の略中心に位置しているAPD15の周囲にAPD15に隣接して配置されている。そのため、上側半球部4aの内壁の広い範囲にマンガンおよびアンチモンを蒸着することができる。

[0101] 次に、外囲器2外部より電磁誘導によりアルカリ源27、27を誘導加熱する。カリウム(K)ペレット及びセシウム(Cs)ペレットが加熱され、容器27dの開口部から蒸気を発生させる。カリウムおよびセシウムは上側半球部4aの内壁に蒸着する。この結果、上側半球部4aの内壁上で、カリウム、セシウム、マンガン、および、アンチモンが反応して光電面11が形成される。

[0102] ここで、隔壁26はアルカリ源27、27と電子検出部10とを隔てている。したがって、カリウムやセシウムが絶縁性筒9に付着して絶縁性筒9表面の仕事関数を低下させることにより、耐電圧を低下させたり、電子管1内の電界に悪影響を及ぼしたりすることが防止されている。また、カリウムやセシウムがAPD15に付着して電子の検出効率を低下させることも防止されている。ゲッターは外囲器2内の不純物を吸着し、真空度維持を補助する。

[0103] こうして、上側半球部4aの内壁全体に光電面11が形成される。

[0104] 次に、ガラス管63を図示しない排気装置から取り外し、その端部65を速やかに気密に封止する。

[0105] 以上の工程により、電子管1が製造される。

- [0106] 次に、電子管1の動作について説明する。
- [0107] 外側ステム6は接地される。この結果、接続用電極12、導電性薄膜13を介して、光電面11には接地電圧が印加される。
- [0108] 電気回路90の入力端子N4には、例えば20KVの電圧が印加される。この結果、ピン32を介して、APD15の降伏電圧制御層44、すなわちAPD15の電子入射面44aに20KVの電圧が印加される。
- [0109] 電気回路90の別の入力端子N3には、例えば20.3KVの電圧が印加される。この結果、ピン30を介して、APD用ステム16、台座87、及び、導電性支持部89に、20.3KVの逆バイアス電圧が印加される。
- [0110] 絶縁性筒9は、正の高電圧が印加されている導電性支持部89と、接地されている外側ステム6とを電氣的に絶縁する。したがって、外囲器2とAPD15とは絶縁され、高電圧が外部環境に露出しない。そのため、電子管1はその扱いが容易となる。また、電子管1と外部環境との間での放電が起こるのが防止できる。このため、電子管1を水中でも使用することができる。
- [0111] また、APD15は外囲器2内部に突出した絶縁性筒9の先端の内側ステム80上に設けられている。すなわち、APD15は、外囲器2と距離的に離れた位置で、外囲器2と電氣的に絶縁されている。このため、外囲器2内部の電界が乱されることがなく、光電面11から放出される電子をAPD15上に効率よく収束させ入射させることができる。
- [0112] また、絶縁性筒9が外囲器2内部に突出していない場合には、外囲器2から絶縁するために外周器2の一部を絶縁材で構成する必要がある。しかし、本実施の形態では、絶縁性筒9を外囲器2内部に突出するように設けたため、外囲器2の一部で絶縁する必要がない。このため、外囲器2の内壁に光電面11を広く形成することが可能となっており、光の検出感度を高めることができる。
- [0113] 電子管1の光電面11に光が入射すると、光電面11は入射した光に応じて電子を放出する。以下、図9を参照しながら、外囲器2内の電子の軌跡Lについてより詳細に説明する。
- [0114] 図9に示すように、APD15は基準点Sよりもガラスバルブ本体4側(すなわち、図の

上部)に配置されている。ここで、点cは、ガラスバルブ本体4の中心を示す。

[0115] この場合、外囲器2とAPD15の電子入射面44aとの間の電位差により、略同心球状の等電位面Eが生じる。このため、光電面11から放出された電子は、図の軌跡Lに沿って飛翔する。よって光電面11から放出された電子は、点cより少し下部に位置しているAPD15表面近傍の点P1で収束する。

[0116] このように、APD15を基準点Sよりもガラスバルブ本体4側、より詳細には、電子の収束点である点P1に備えたことで、略半球状という広い有効エリアを有する光電面11から放出された電子を狭い領域に収束することができる。有効エリアの大きい光電面11から放出される電子を、効率よく、有効エリアの小さいAPD15に入射させることができ、検出効率を向上させることができる。

[0117] なお、比較例として、APD15が基準点Sよりも下方のガラスバルブ基部5内に配置されている場合を考える。この場合には、外囲器2とAPD15との間の電位差により、等電位面Eが図10に示すように生じる。このため、電子は、光電面11から軌跡Lに沿って放出される。この結果、電子は点P2で収束することになる。電子は、APD15の位置では、図のように拡散状態となる。このため、光電面11から放出された電子は効率よくAPD15に入射することができない。

[0118] 本実施の形態では、APD15はカバー71で覆われているので、電子の入射方向が更に制限され、APD15の電子検出感度が一層向上している。

[0119] また、壁26の上端は仮想延長曲面1よりも下側にあるため、ガラスバルブ本体4側に突出していない。更に、隔壁26の上端はAPD15よりも下側に位置している。このため、隔壁26がガラスバルブ本体4内の電界を乱すことも防止されている。

[0120] しかも、APD15は、高速応答性に優れ、リーク電流が小さく、製造部品が少ないために製造コストが低いといった利点をも備えている。

[0121] 次に、図11を参照しながら、導電性フランジ21、23の作用について説明する。

[0122] 絶縁性筒9の上端部は、正の高電圧が印加された導電性支持部89と接続されている。一方、絶縁性筒9の下端部は、接地されたステム内側壁61と接続されている。本実施の形態では、絶縁性筒9の上端部と導電性支持部89との接続部に導電性フランジ21を設け、絶縁性筒9の下端部と導電性を有するステム内側壁61との接続部に

導電性フランジ23を設けている。このため、絶縁性筒9の導電性部材89やステム内側壁61との接続部付近における電位勾配を緩和することができる。このため、絶縁性筒9の上下端部付近において等電位面が集中し電位勾配が大きくなってしまうことが防止される。このため、等電位面Eの略同心球状が絶縁性筒9の上下端部付近において歪んでしまうのを防止することができる。したがって、光電面11から放出された電子は効率よくAPD15に入射して検出される。よって、光電面11に入射した光を高感度に検出することができる。また、電位勾配が緩和されることにより電界強度が緩和されるため、絶縁性筒9の上下端部で放電が生じるのも防止することができる。このため、外囲器2とAPD15との間に大きな電位差を印加することができ、検出感度を向上させることができる。

[0123] しかも、導電性フランジ21、23の先端部21c、23dは、他の部分に比べて断面が広い肉厚形状をなし、しかも表面が湾曲している。このため、導電性フランジ21、23の先端部に電界が集中することが防止されている。

[0124] このように、導電性フランジ21、23によって絶縁性筒9の上下端部における電位勾配が緩和され、電子管1の内部には略同心球状の等電位面が形成される。このため、たとえ光電面11から放出された電子がAPD15で反射しても、この電子を再びAPD15に入射させることができ、反射電子による検出効率の劣化を最小限にすることができる。また、等電位面が略同心球状であるため、光電面11のいずれの位置から放出された電子も、ほぼ同時間でAPD15に入射する。そのため、光電面11における入射光の入射時刻を、その入射箇所にかかわらず正確に計測することができる。

[0125] なお、導電性フランジ21、23を設けない場合には、図12に示すように、絶縁性筒9の上端部付近の領域V、及び下端部付近の領域Wに複数の等電位面Eが集中し大きな電位勾配が生ずる。このため、光電面11から放射された電子は、領域V、Wで乱され、APD15に効率良く入射しなくなり、感度が低下したり雑音が増加したりする。また、領域V、W付近で放電が生じる危険性があるため外囲器2とAPD15との間に大きな電位差を与えることができなくなる。

[0126] 光電面11から放射された電子は、APD15に入射すると、APD15内でエネルギーを失い、その際、多数の電子-正孔対を生成する。さらに、この電子は、アバランシェ

増倍により増倍される。この結果、APD15内では、電子は、トータルで、約 $10^5$ 倍に増倍される。

- [0127] 増倍された電子は、ピン32を介して検出信号として出力される。検出信号は、コンデンサC2により低周波成分を除去され、入射電子によるパルス信号のみがアンプA1に inputs。アンプA1は、パルス信号を増幅する。一方、ピン30はコンデンサC1を介して出力端子N1に交流的に接続され、接地されている。このため、外部回路100は、APD15に入射した電子の量を、出力端子N1、N2間に接続された抵抗Rに生ずる電位差として、正確に検出することができる。
- [0128] コンデンサC1、C2は絶縁性筒9内部のAPD15の近くに位置している。したがって、コンデンサC1、C2は、APD15から出力される信号の応答性を損なうことなく、雑音がなく直流成分を除去した出力信号を、外部回路100に供給することができる。
- [0129] 以上説明したように、本実施の形態にかかる電子管1によれば、外囲器2に接地電圧を与えAPD15に正の高電圧を与えても、絶縁性筒9と外側ステム6との接続部を接地電圧とすることができるため、絶対値の大きい電圧が外部環境に露出されない。よって使用時の扱いが容易で、外囲器2と外部環境との間の放電も防止できる。さらに水中での使用も可能となり、例えば、水チェレンコフ実験にも使用することができる。
- [0130] また、略球面状に湾曲した曲面を有するガラスバルブ本体4の所定の部分に光電面11が形成されているので、光電面11を広く形成することができる。一方、APD15は、ガラスバルブ基部5内の基準点Sよりもガラスバルブ本体4側に設けられている。このため、有効エリアが広い光電面11から放出された光電子を有効エリアの小さいAPD15に収束することが可能である。これにより、発生した電子が半導体素子15上に効率よく収束して入射するので、電子の検出感度を高めることができる。さらに、APD15は有効エリアが小さいので、高速応答性に優れ、リーク電流が小さく、しかも、製造コストも低い。
- [0131] また、アルカリ源27と絶縁性筒9とは隔壁26により隔てられている。よって、アルカリ源27がアルカリ金属蒸気を発生させ外囲器2の所定の部分に光電面11を形成する際に、絶縁性筒9にアルカリ金属が蒸着するのを防止することができる。また、絶縁性

筒9にアルカリ金属が付着しないので、絶縁性筒9に付着したアルカリ金属が絶縁性筒9の耐電圧を低下させたり、絶縁性筒9近傍の電界強度に悪影響を与えたりすることがない。このため、電子を効率よく検出することが可能である。

[0132] さらにマンガんびード17、アンチモンビード19は筒状の外側壁部74に囲まれている。よって、光電面11が形成される際に、外側壁部74は、これらの金属蒸気が外囲器2の上側半球部4a以外に付着することを、単純な構造かつ最小限のサイズによって防止することができる。光電面11を必要最小限の上側半球部4aに制限することで、外囲器2の有効とならない部分より電子が放出されることがなく、暗電流出力の信号への寄与を低減することができる。

[0133] また、APD15はカバー71および筒状の内側壁部72に囲まれているので、内側壁部72は、APD15にマンガンの金属蒸気が付着し特性が劣化するのを単純な構造かつ最小限のサイズによって防止することができる。しかも、入射する光電子の入射方向を制限することにより検出感度を一層向上させている。

[0134] また、APD15の外側近傍にマンガんびード17、アンチモンビード19を配置したことにより、マンガンの金属蒸気が上側半球部4a全体に満遍なく拡がる。そのため、上側半球部4a全体という広い範囲に光電面11を形成することができる。

[0135] APD15からの信号を検出する際には、絶縁性筒9内部のAPD15の近くに配置されたコンデンサC1、C2にて直流成分が除去されるので、応答性を損なうことがない。また、電気回路90は充填材料94により絶縁性筒9内部に封入されているので、耐湿性が強化され、水中でも使用しやすい。しかも、電気回路90の端子N1〜N4を除く各部に直接手を触れることが防止されるため、安全性の面でも優れている。

#### <第1の変更例>

[0136] 図13に示すように、ガラスバルブ本体4の軸Zを含む面における縦断面は、略円形状であっても良い。この場合、ガラスバルブ本体4の軸Zに直交する径と軸に沿った径とは略等しい。

[0137] この場合でも、APD15を、ガラスバルブ本体4の下側半球部4bの仮想延長曲面Iがガラスバルブ基部5内で軸Zと交差する基準点Sよりもガラスバルブ本体4側(図における上部側)に配置すれば良い。なお、図において、点cは、本体104の中心を表

す。

[0138] 外囲器2とAPD15との間の電位差により生ずる等電位面Eにより、電子は軌跡Lに沿って飛翔する。このため、電子は、点Cより少し下方に位置しているAPD15の表面近傍の点P3で収束する。

[0139] このように、基準点Sよりもガラスバルブ本体4側にAPD15を備えたことで、光電面11から放出される電子を効率よくAPD15に入射させることができ、検出効率を向上させることができる。

[0140] 比較例として図14に、APD15を基準点Sよりも下方のガラスバルブ基部5内に配置した場合を示す。外囲器2とAPD15との間の電位差により生ずる等電位面Eにより、電子の軌跡Lは図のようになり、点P4で収束することになる。このため、APD15の位置では、電子は図のように拡散状態となる。よって、光電面11から放出された電子は、効率よくAPD15に入射しない。

#### <第2の変更例>

[0141] 上記の実施の形態では、導電性フランジ21の外周端21cは、フランジ本体部21bより厚みが増した曲面を有する形状となっていた。しかしながら、導電性フランジ21の外周端21cは、図15に示すように、フランジ本体部21bの外周部を丸めて作成しても良い。

[0142] 導電性フランジ23の先端まるみ部23dについても、同様に、立ち上がり部23cの外周端23dを丸めて作成しても良い。

#### <第3の変更例>

[0143] 上記実施の形態では、図3を参照して説明したように、遮蔽部70のキャップ73は、内側壁部72と天井面76と外側壁部74とを備えていた。しかしながら、図16に示すように、キャップ73から内側壁部72と天井面76とを除去しても良い。この場合、キャップ73は外側壁部74のみからなる。

[0144] この場合でも、マンガンビード17やアンチモンビード19は、図1を参照して説明した上記実施の形態と同様、台座87より図において上側(すなわち、上側半球部4a側)であって、カバー71の外側壁部71aと台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mとの間に配置されている。したがって、台座87と外側壁部74によって、マンガン蒸気やア



ンチモン蒸気がガラスバルブ基部5や外側ステム6や下側半球部4bの内壁に付着するのが防止される。また、カバー71によって、マンガン蒸気やアンチモン蒸気がAPD 15に付着するのが防止される。

[0145] さらに、図17に示すように、遮蔽部70からキャップ73全体を除去してもよい。この場合には、遮蔽部70はカバー71のみからなる。この場合でも、図1を参照して説明した上記実施の形態と同様、マンガンビード17やアンチモンビード19は、台座87より図において上側(すなわち、上側半球部4a側)であって、カバー71の外側壁部71aと台座87の外周縁87bの仮想延長曲面Mとの間に配置されている。したがって、台座87によって、マンガン蒸気やアンチモン蒸気が外側ステム6やガラスバルブ基部5の内壁に付着するのが防止される。また、カバー71によって、マンガン蒸気やアンチモン蒸気がAPD15に付着するのが防止される。

[0146] なお、図示しないが、キャップ71は、外側壁部71aを備えていればよく、天井面71bを備えていなくても良い。外側壁部71aが、マンガン蒸気やアンチモン蒸気がAPD 15に付着するのを防止することができるからである。

#### <第4の変更例>

[0147] 上記実施の形態では、隔壁26は、筒9をアルカリ金属蒸気から遮蔽する機能と、アルカリ源27を支持する機能とを有していた。ここで、電子管110は、図18に示すように、図1の隔壁26の代わりに支持機能のみを備えた支持部材26'を備え、図1の導電性フランジ21、23の代わりに、導電性フランジ21、23の電界緩和機能と隔壁26の遮蔽機能とを兼ね備えた導電性フランジ21'、23'を備えても良い。

[0148] 図19は、導電性フランジ21'、23'及び支持部材26'についての詳細な説明図である。本変更例では、隔壁26の代わりに支持部材26'が設けられている。支持部材26'も隔壁26と同様に円筒形状を有し、筒9を囲むように設けられている。支持部材26'には、上記実施の形態と同様に、ガラスバルブ基部5と対向する側にアルカリ源27が固着されている。ただし、上記実施の形態では、隔壁26は、アルカリ源27が固定されている位置より上まで延び、隔壁26の上端は、アルカリ源27全体よりも上側にあった。これに対し、本変更例の支持部材26'の上端は、隔壁26の上端より低く、アルカリ源27の支持部27aの最上部と一致している。

[0149] 絶縁性筒9の下端には、図1の導電性フランジ23の代わりに導電性フランジ23'が設けられている。導電性フランジ23'は、導電性フランジ23と同様に、接続部23a'とフランジ本体部23b'と立ち上がり部23c'と先端丸み部23d'とを備えている。接続部23a'は円筒状をしており、円筒状のステム内側壁61の外側面に固定されている。フランジ本体部23b'は、軸Zから離れる方向に延びる円環板状をしており、その外周端は、導電性フランジ23のフランジ本体部23b(図3)の外周端よりも半径方向において外側(半径方向において軸Zからより離れた側)に位置している。なお、立ち上がり部23c'の外周端は、支持部材26'よりも内側(半径方向において軸Zに近い側)に位置している。立ち上がり部23c'は、フランジ本体部23b'の外周端より立ち上がり、軸Zに平行に上方向に延びた円筒状をしており、絶縁性筒9をほぼ覆っている。先端丸み部23d'は、立ち上がり部23c'の上端部から軸Zから離れる方向に延びている。先端丸み部23d'は、接続部23a'やフランジ本体部23b'、及び、立ち上がり部23c'の厚みより厚く、丸みを帯びた肉厚形状になっている。

[0150] 絶縁性筒9の上端には、図1の導電性フランジ21の代わりに導電性フランジ21'が設けられている。導電性フランジ21'は、接続部21a'とフランジ本体部21b'とを備えている。接続部21a'は円筒状をしており、円筒状の導電性支持部89の外側面に固定されている。フランジ本体部21b'は、軸Zから離れる方向に断面放物線状にぶら下がるようにして延びる円環板状をしている。ここで、導電性フランジ23'の上端は、導電性フランジ21'の下端よりもZ軸方向において上側に位置し、かつ半径方向において軸Zから離れる方向に位置している。言い換えれば、導電性フランジ21'のフランジ本体部21b'と導電性フランジ23'の立ち上がり部23c'とは、Z軸方向において重なる部分を有している。

[0151] 以上のような構成の電子管110では、導電性フランジ21'と導電性フランジ23'が互いに重なり合いながら絶縁性筒9を覆っているため、光電面11を形成するためにアルカリ源27から発生するアルカリ金属蒸気が絶縁性筒9に蒸着するのを防止することができる。また、導電性フランジ21'、23'は、上記実施の形態の隔壁26と比べて絶縁性筒9に近い位置に配置されているため、隔壁26によって遮蔽する上記実施の形態に比べ、アルカリ金属蒸気の遮蔽効果が向上する。また、支持部材26'の上端

が隔壁26の上端より低いいため、支持部材26'のサイズが隔壁26に比べて小さくて済む。

[0152] 一方、筒9をアルカリ金属蒸気から遮蔽するためには、上記実施の形態の場合は、アルカリ源27を隔壁26の外側に配置しなければならなかった。これに対し、本変更例では、アルカリ源27は、導電性フランジ21'、23'の外側に配置すればよい。例えば、アルカリ源27を支持部材26'の導電性フランジ23'と対向する側に設けても良い。この場合、アルカリ源27は、導電性フランジ23'と支持部材26'との間に配置しても良い。また、導電性フランジ23'の立ち上がり部23c'よりもZ軸から離れた位置に、導電性フランジ23'によってアルカリ源27を保持しても良い。この場合、支持部材26'は設けなくても良い。このように、アルカリ源27を絶縁筒9に近い位置に設けることができるので、ガラスバルブ基部5の半径及びステム6の面積を小さくすることができ、コストの減少を図ることができる。導電性フランジ21'、23'は、絶縁性筒9端部の電界強度を弱める機能も有しているため、絶縁性筒9の上下端部で放電が生じるのを防止することができる。

[0153] なお、フランジ本体部21b'は、導電性フランジ23'の立ち上がり部23c'よりも軸Zから離れた位置に配置しても良い。また、フランジ本体部21b'は、軸Zに平行に絶縁性筒9をほぼ覆うように下方向に延びていても良い。また、導電性フランジ21'のみで筒9をアルカリ金属蒸気から遮蔽しても良いし、導電性フランジ23'のみで筒9をアルカリ金属蒸気から遮蔽しても良い。また、導電性フランジ21'の形状は、導電性フランジ23'のように円筒形状であっても良いし、導電性フランジ23'の形状は、導電性フランジ21'のように断面放物線形状であっても良い。導電性フランジ21'は、先端丸み部を有していても良い。支持部材26'を筒9の周りを360° 囲むような円筒形状とはせずに、筒9の周りのうちアルカリ源27の支持に必要な位置のみに設けても良い。

<他の変更例>

[0154] 上記実施の形態では、外側ステム6を構成するステム底面60、ステム外側壁62、及び、ステム内側壁61の全てがコバル金属で作成されていた。しかしながら、ステム底面60、ステム外側壁62、及び、ステム内側壁61は、コバル金属以外の導電性材料で作成されても良い。

- [0155] さらに、外側ステム6のうち、絶縁性筒9と接続されるステム内側壁61が導電性材料で作成されていればよく、ステム底面60及びステム外側壁62は絶縁性材料で作成されても良い。また、ステム内側壁61のうち、絶縁性筒9と接続される部分だけが導電性材料で作成されているのもよい。
- [0156] 上記実施の形態では、内側ステム80を構成する台座87とAPD用ステム16とは導電性材料で作成されていた。しかしながら、台座87とAPD用ステム16とは絶縁性材料で作成されても良い。APD用ステム16の少なくともピン30との接続点が導電性材料で作成されていれば良い。
- [0157] 光電面11は、上側半球部4a全体ではなく、上側半球部4aのうちの一部（例えば、Z軸を中心とした領域）に形成されても良い。その場合、導電性薄膜13はガラスバルブ本体4のうちの光電面11が形成されていない部分に形成し、光電面11と導電性薄膜13とを通电させる。
- [0158] 隔壁26は、導電性材料で形成しなくても良い。アルカリ源27、27からの蒸気が電子検出部10に蒸着するのを防止でき、電子管1内の電界を乱さないものであれば、他の材料でもよい。
- [0159] マンガンビード17、アンチモンビード19は、上述した位置、個数でなくともよい。台座87上の他の場所に異なる個数設けてもよい。
- [0160] 上記の実施の形態では、内側ステム80は、APD用ステム16と台座87とからなり、APD用ステム16を台座87の貫通孔87aを塞ぐように台座87に対して固定していた。しかしながら、台座87を略円形状として、内側ステム80をこの台座87のみから構成するようにしても良い。この場合、台座87の略中央部にAPD15を配置すれば良い。
- [0161] 導電性フランジ21、23は、円筒状の電子検出部10の中心軸Zから円筒状のガラスバルブ基部5に向かう方向へ軸Zに直交する平面上に円周状に広がる板状であるが、この形状に限定されない。絶縁性筒9の上下端部から中心軸Zから遠ざかるように突出し、絶縁性筒9の上下端部付近の等電位面の集中を緩和すれば良い。また、導電性フランジ21、23の外周縁は丸みを帯びていなくてもよい。
- [0162] 絶縁性筒9の上端付近に等電位面が集中するおそれがない場合には、導電性フランジ21はなくてもよい。また、絶縁性筒9の下端付近に等電位面が集中するおそれ

がない場合には、導電性フランジ23はなくてもよい。

[0163] また、不都合がなければ、外囲器2にマイナス極性の電圧を印加し、APD15に接地電圧を印加しても良い。

[0164] 排気管7の位置は、絶縁性筒9と隔壁26との間ではなく、例えば隔壁26とガラスバルブ基部5の間など他の位置でもよい。

[0165] 絶縁性筒9は筒状であれば、円筒形状でなく、例えば、角型筒形状でもよい。

[0166] APD15の代わりに任意の電子打ち込み型半導体素子を採用しても良い。

[0167] APD15の位置は、電子の検出が充分に行なえるならば、基準点Sより下側でもよい。

[0168] アルカリ源27、27は絶縁性筒9に対して互いに対向するように設置されているが、この位置関係には限定されず、例えば互いに隣り合うように設置してもよい。隣り合うように設置することで、アルカリ源27、27を加熱する際、1つの電磁石で加熱が可能になるなど作業を簡略化することができる。

[0169] 信号をより明確に検出するために、絶縁性筒9内にアンプA1を備えていたが、アンプA1は設けなくてもよい。その場合、コンデンサC1は出力端子N2に直接接続される。

[0170] 以上、添付図面を参照しながら本発明による電子管の好適な実施形態について説明したが、本発明は上述した実施の形態に限定されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において各種の変形や改良が可能である。

[0171] マンガンビード17およびアンチモンビード19は設けなくてもよい。外囲器2にマンガン蒸気及びアンチモン蒸気の導入口を設け、外部からマンガン蒸気及びアンチモン蒸気を導入して光電面を形成するようにすればよい。この場合、キャップ73は設けなくてもよい。

[0172] 電気回路90のコンデンサC1、C2、アンプA1は、絶縁性の筒9の内部ではなく電子管1の外部に備えるようにしてもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0173] 本発明の電子管は、様々な光検出に使用できるが、水チェレンコフ実験等のように

水中でのシングルフोटンの検出に特に効果がある。

## 請求の範囲

- [1] 内壁の所定の部分に光電面(11)が形成された外囲器(2)と、  
一端と他端とを有し、前記他端が前記外囲器(2)に接続され、前記一端が前記外  
囲器(2)の内部側に突出した絶縁性の筒(9)と、  
前記筒の一端に設けられた電子打ち込み型半導体素子(15)と、  
前記外囲器(2)内部に設けられ、アルカリ金属蒸気を発生させるアルカリ源(27)と  
、  
前記アルカリ源(27)と前記筒(9)との間に設けられた隔離部材(21'、23'、26)と  
、  
を有し、前記光電面(11)に入射した光に応じて前記光電面(11)より放出される光  
電子を前記半導体素子(15)により検出することを特徴とする電子管(1)。
- [2] 前記筒(9)の一端に導電性部材(89)を介して接続された内側ステム(80)を更に  
備え、前記内側ステム(80)に前記半導体素子(15)が配置され、  
前記筒(9)の一端に前記筒(9)外部側に突出するように設けられ、前記筒(9)の一  
端近傍の電界強度を緩和する導電性部材(21)をさらに有することを特徴とする請求  
項1に記載の電子管(1)。
- [3] 前記外囲器(2)は、前記筒(9)の他端に接続され少なくとも前記筒(9)の他端と接  
続する部分が導電性を有する外側ステム(6)を有し、  
前記筒(9)の他端に前記筒(9)外部側に突出するように設けられ、前記筒(9)の他  
端近傍の電界強度を緩和する導電性部材(23)をさらに有することを特徴とする請求  
項1に記載の電子管(1)。
- [4] 前記外囲器(2)は接地電位を印加され、前記半導体素子(15)はプラス極性の電  
位を印加されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の電子管(1)  
。
- [5] 前記隔離部材(21'、23'、26)は、前記筒(9)の一端から前記筒(9)外部側に突  
出するように設けられた前記筒(9)の一端近傍の電界強度を緩和するための導電性  
部材(21')、又は、前記筒(9)の他端から前記筒(9)外部側に突出するように設けら  
れた前記筒(9)の他端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材(23')のいずれ

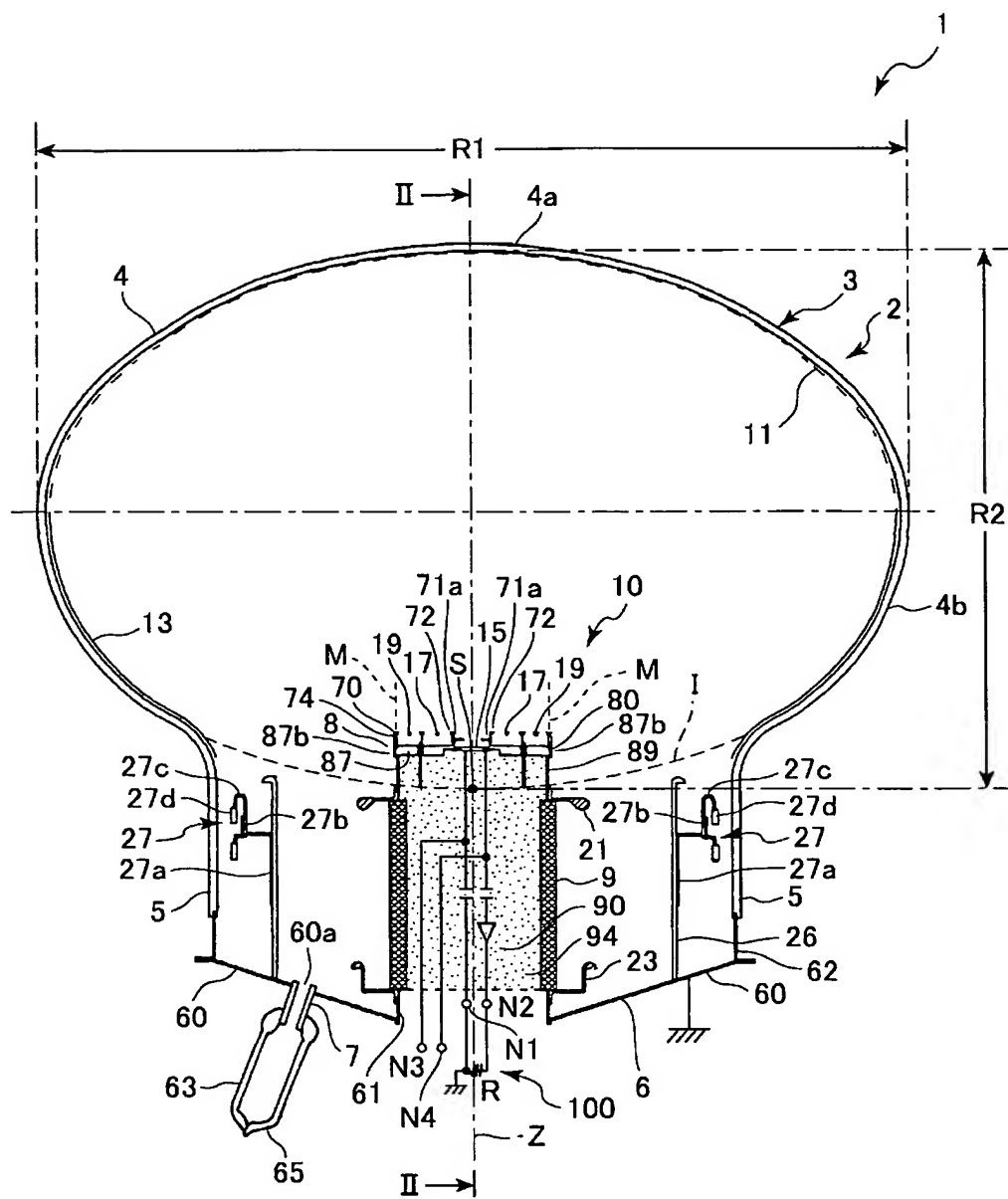
れか一方からなることを特徴とする請求項1に記載の電子管(110)。

- [6] 前記隔離部材(21'、23'、26)は、前記筒(9)の一端から前記筒(9)外部側に突出するように設けられた前記筒(9)の一端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材(21')、及び、前記筒(9)の他端から前記筒(9)外部側に突出するように設けられた前記筒(9)の他端近傍の電界強度を緩和するための導電性部材(23')からなることを特徴とする請求項1に記載の電子管(110)。

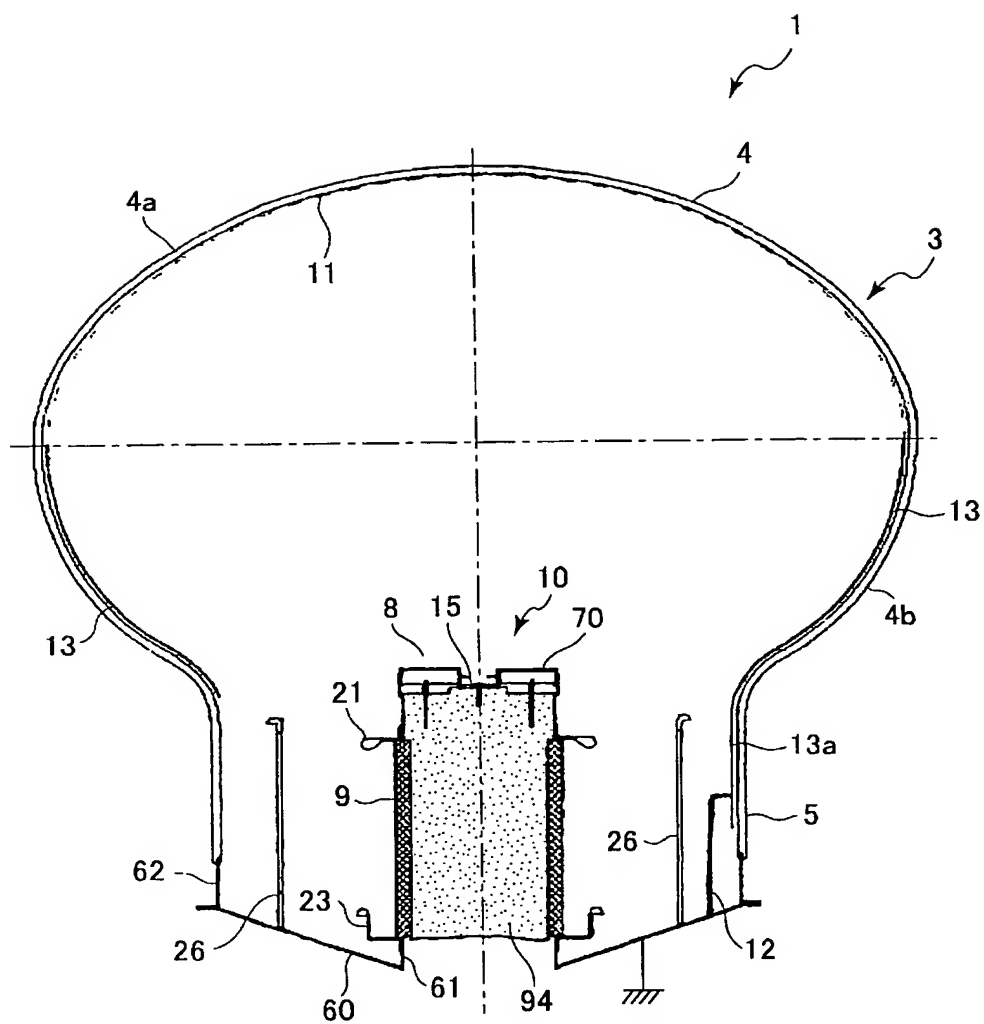
- [7] 前記導電性部材(21')と前記導電性部材(23')とは、前記筒(9)の軸方向において互いに重なり合う部分を有することを特徴とする請求項6に記載の電子管(110)。



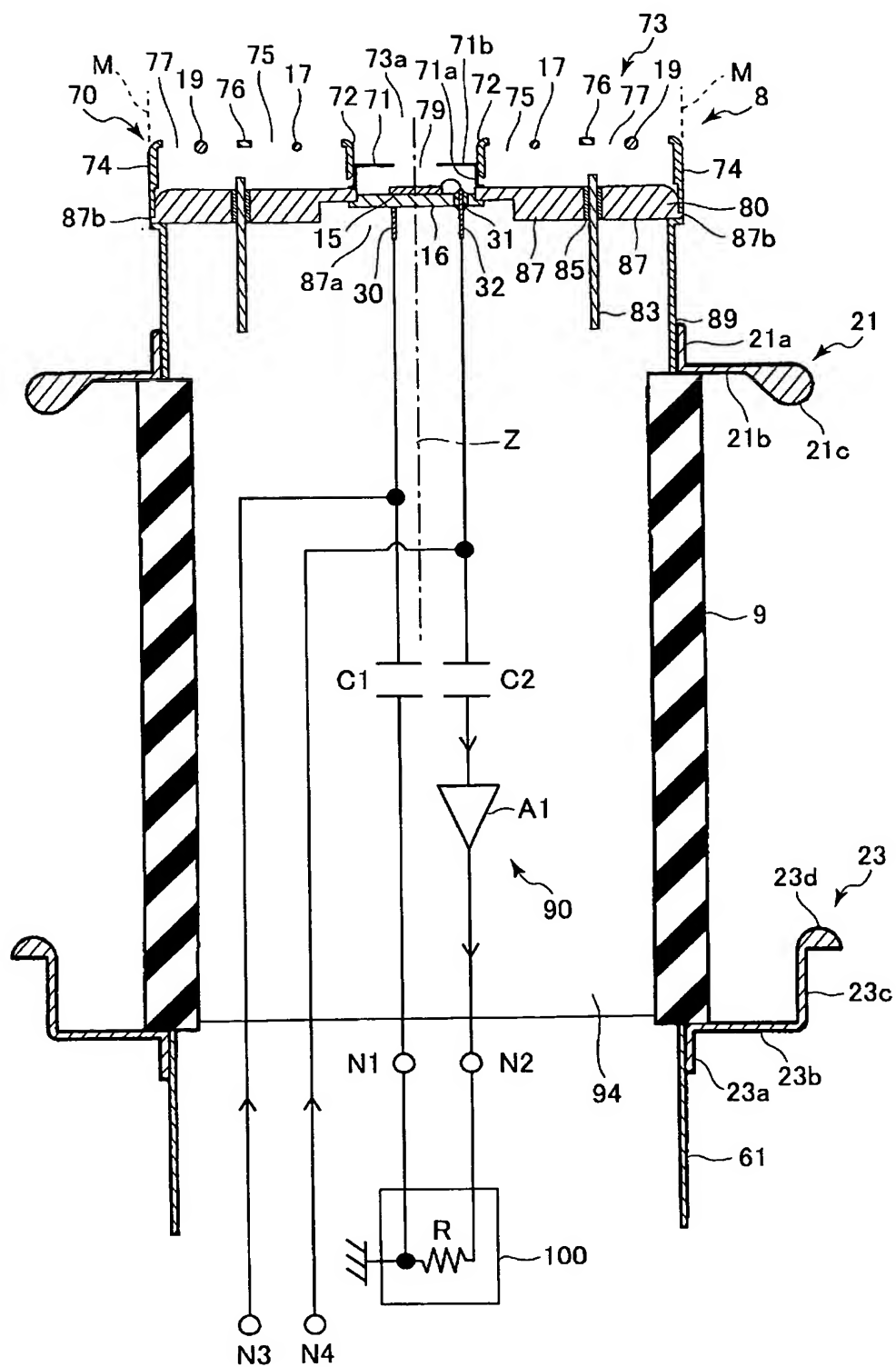
[図1]



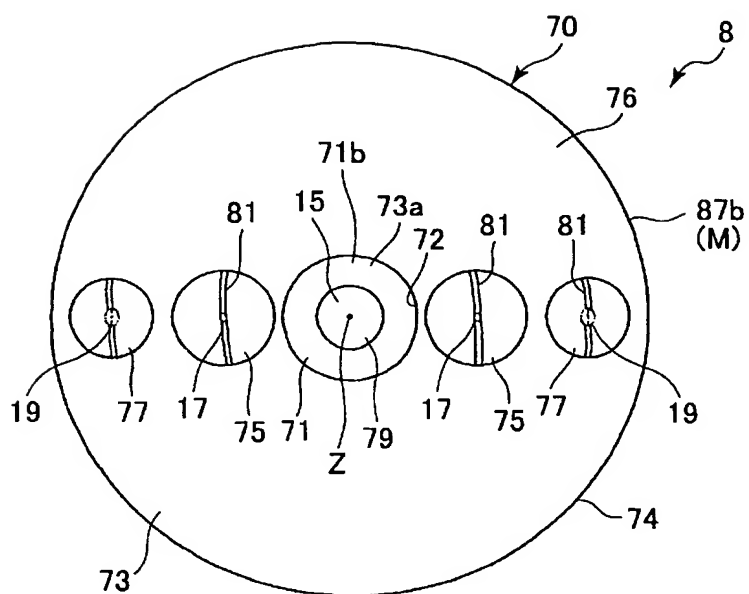
[図2]



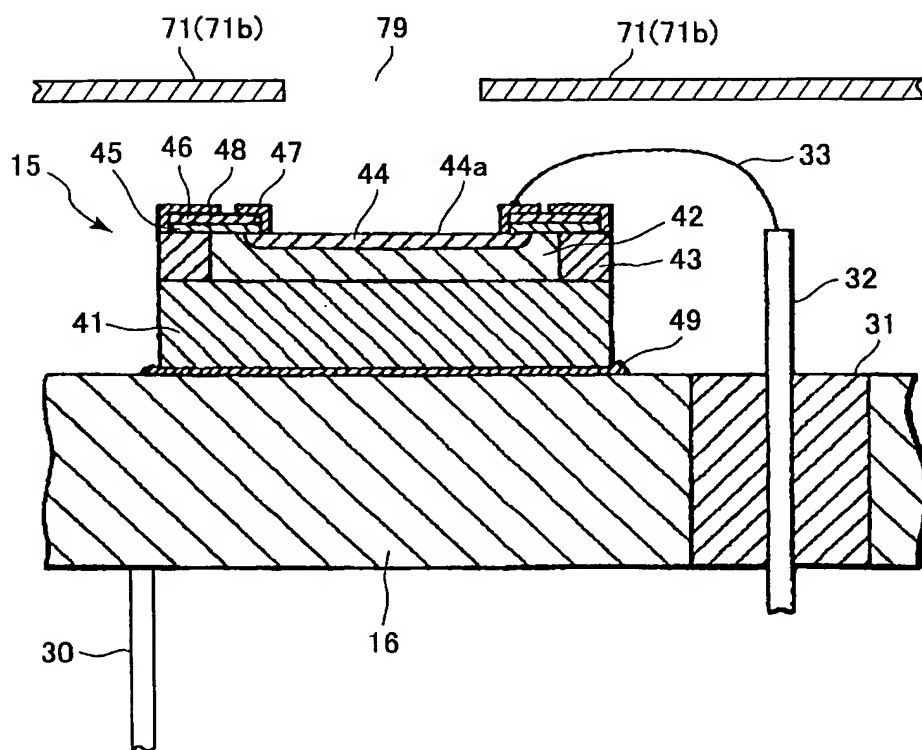
[図3]



[図4]



[図5]



[図6]

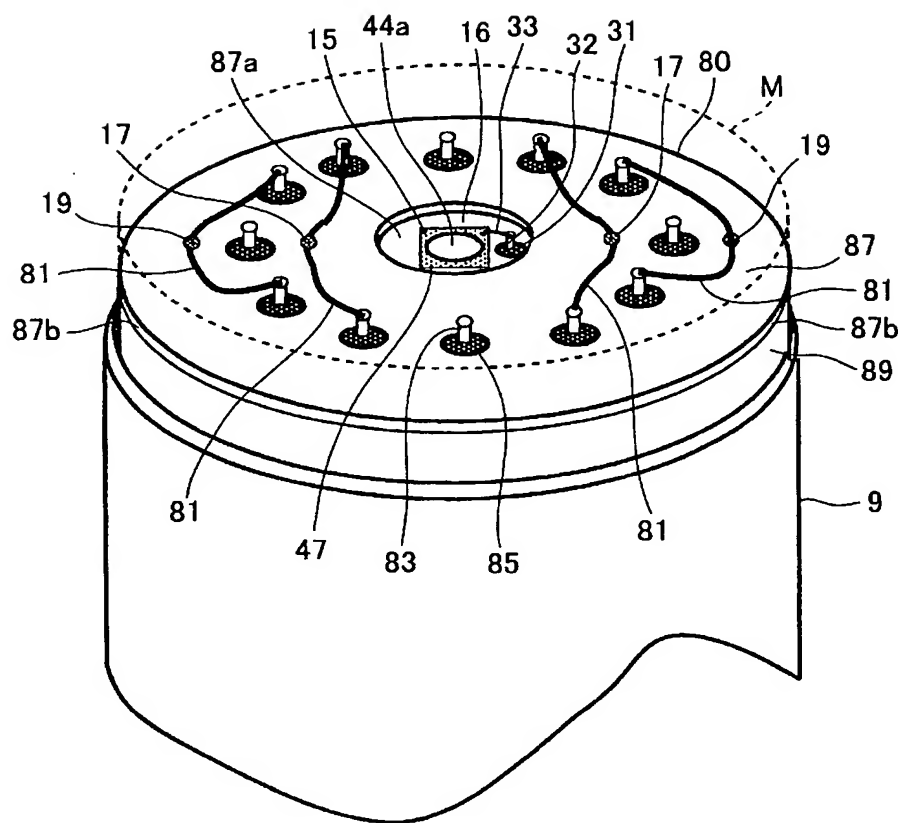
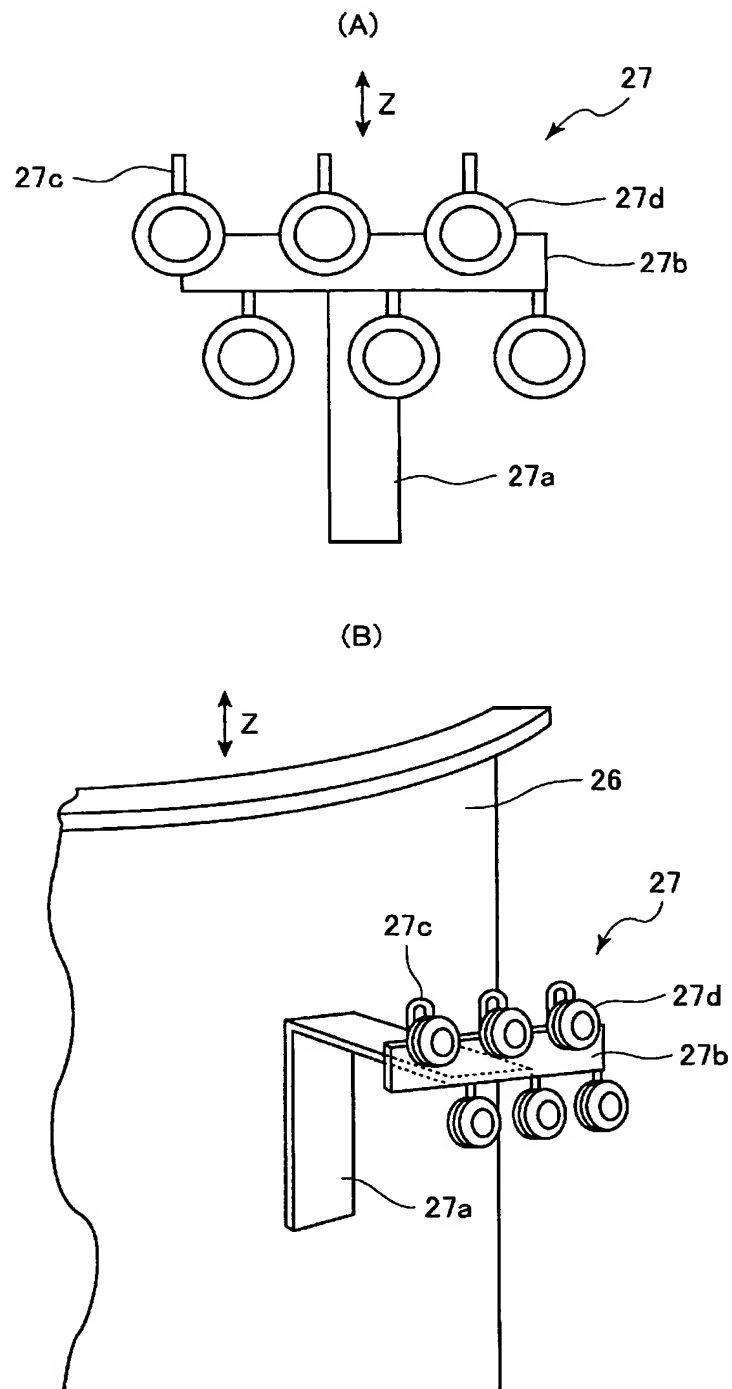



FIG. 1 is a cross-sectional view of a semiconductor device 10. The device is built on a substrate 9, which includes a base layer 21, a middle layer 87, and a top layer 89. A circular region 70 is defined on the top layer 89, containing five circular openings 73. Each opening 73 features a central circular element 71 (71b) and is encircled by a ring 72. The openings are separated by a material 75. The top surface of the device is labeled 73a. Other labels include 17, 19, 76, 77, 79, 81, and 74, which point to various structural components and features of the device.

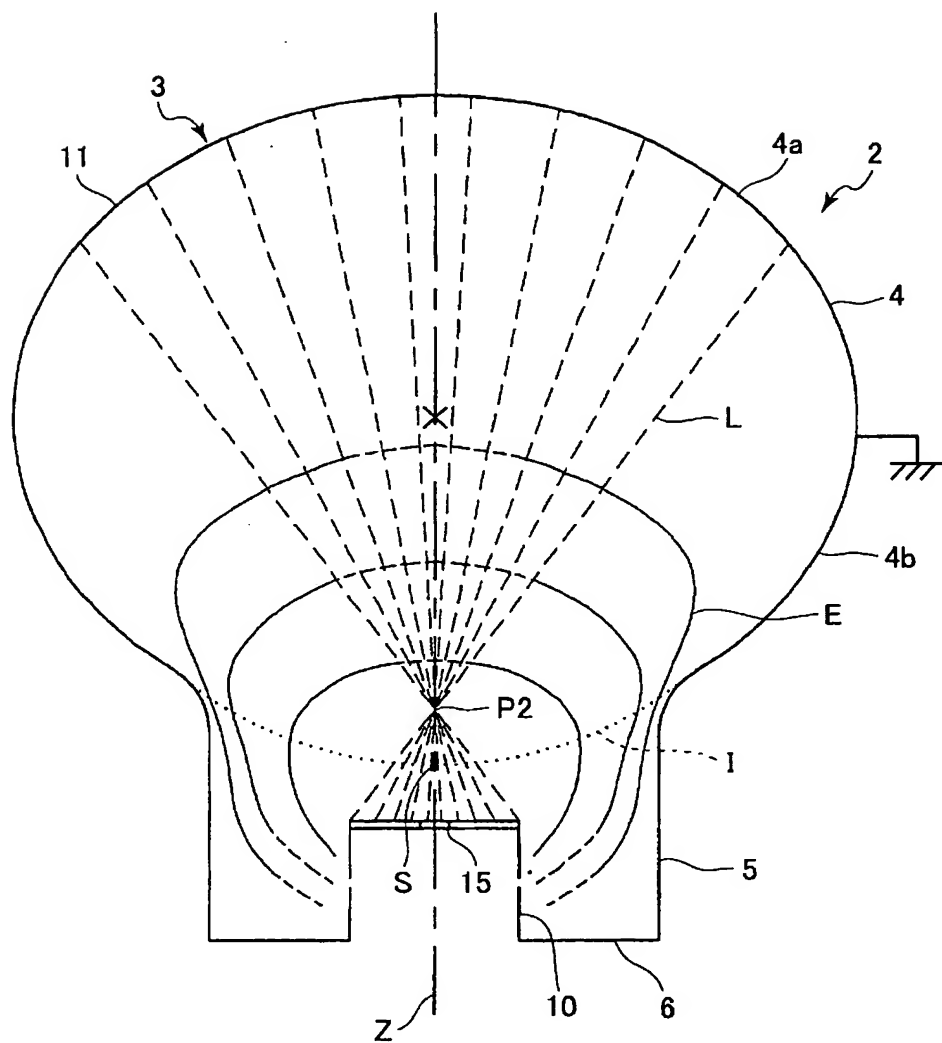
[図8]



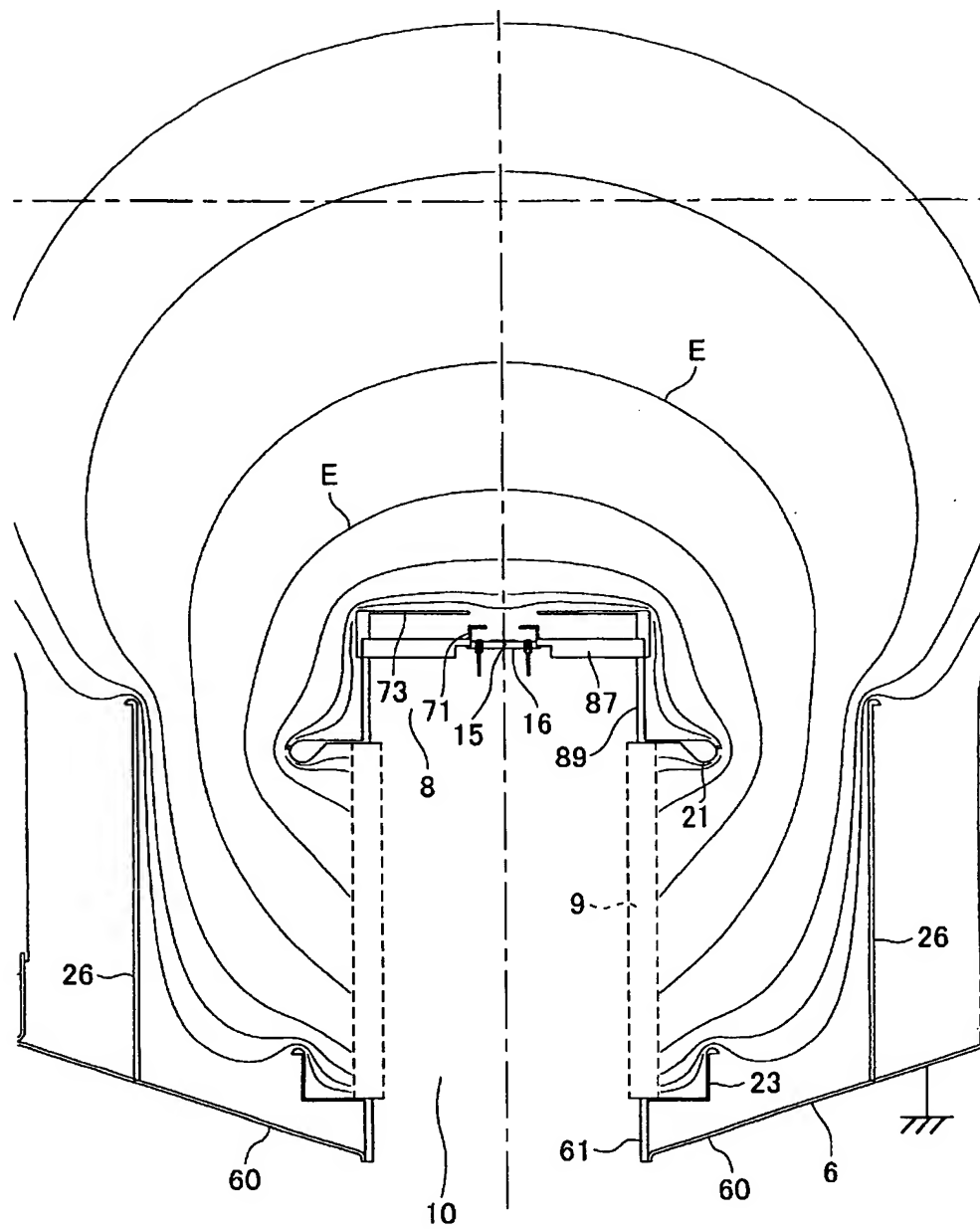




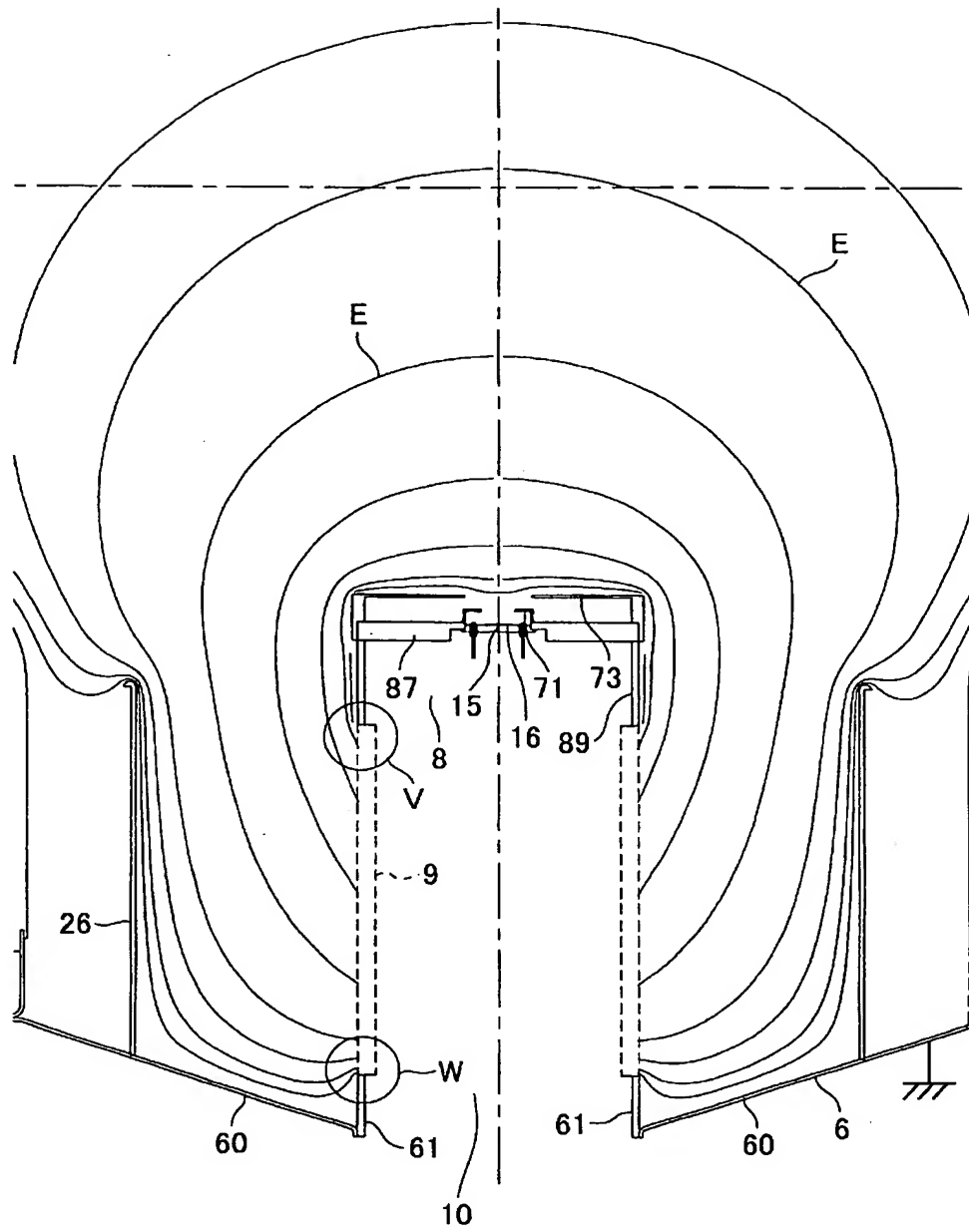
[ 10]



[図11]

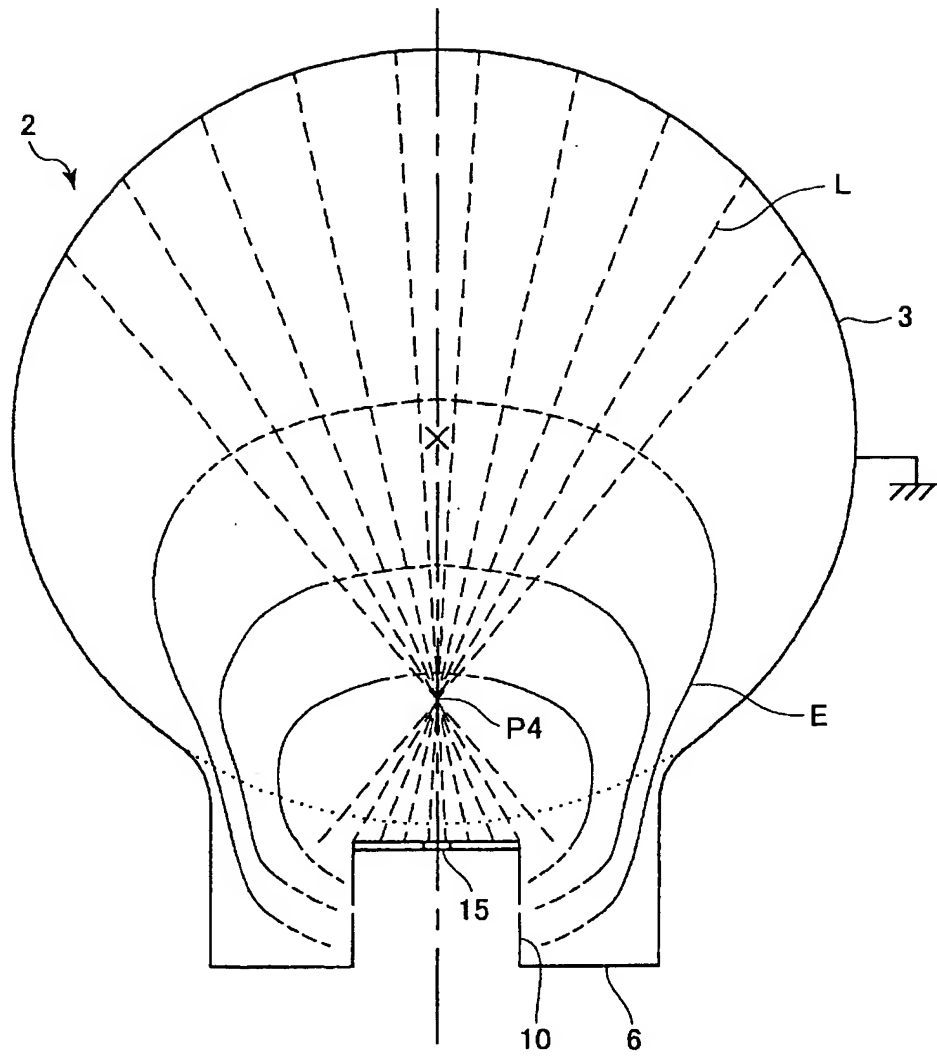


[図12]

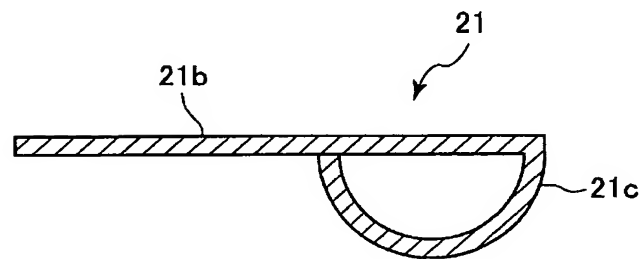




[図14]



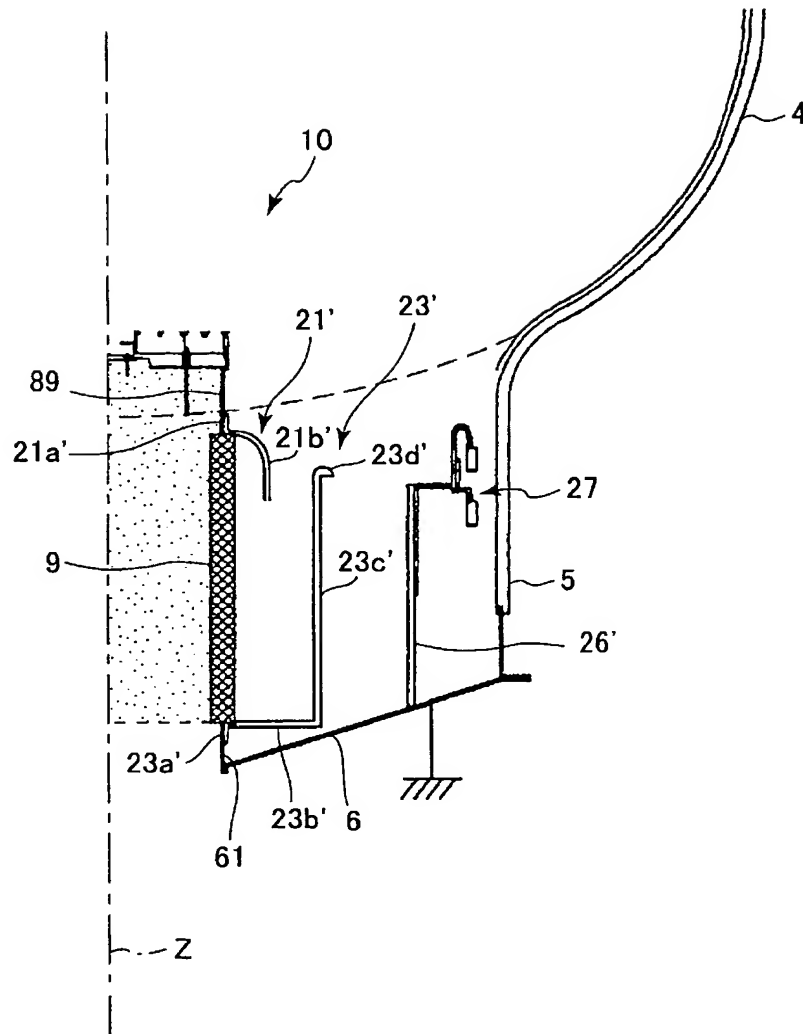
[図15]







[図19]





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2004/013130

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01J40/04, 40/14, 9/233

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01J40/00-40/20, 43/00-43/30, 9/233, G01J1/00-1/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-297055 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 18 November, 1997 (18.11.97), Full text; all drawings & EP 805477 A2 & US 5874728 A	1-7
A	JP 46-19162 Y1 (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 03 July, 1971 (03.07.71), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 December, 2004 (14.12.04)

Date of mailing of the international search report  
11 January, 2005 (11.01.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01J40/04, 40/14, 9/233

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01J40/00-40/20, 43/00-43/30, 9/233  
G01J1/00-1/60

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 9-297055 A (浜松ホトニクス株式会社) 1997. 11. 18, 全文, 全図 & EP 805477 A2 & US 5874728 A	1-7
A	JP 46-19162 Y1 (東京芝浦電気株式会社) 1971. 07. 03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 12. 2004

国際調査報告の発送日

11. 1. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

堀部 修平

2G

9215

電話番号 03-3581-1101 内線 3225

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**